



Les configurations télédétectées de la déforestation en Amazonie brésilienne

Moise Tsayem Demaze

► To cite this version:

Moise Tsayem Demaze. Les configurations télédétectées de la déforestation en Amazonie brésilienne. 2006. halshs-00104150

HAL Id: halshs-00104150

<https://shs.hal.science/halshs-00104150>

Preprint submitted on 5 Oct 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les configurations télédétectées de la déforestation en Amazonie brésilienne

Moïse TSAYEM DEMAZE

Maître de Conférences

Département de Géographie de l'Université du Maine

Équipe GREGUM de l'UMR 6590 CNRS ESO et US 140 ESPACE (IRD)

Avenue Olivier Messiaen

75085 Le Mans cedex 9.

Tél. 02 43 83 31 46

Fax. 02 43 83 31 92

Moise.Tsayem_Demaze@univ-lemans.fr

Résumé

La déforestation en Amazonie brésilienne préoccupe et mobilise différentes catégories d'acteurs depuis plusieurs décennies. Si les organismes internationaux et les experts s'intéressent surtout à la quantification du phénomène, nombreux sont les chercheurs qui étudient les mécanismes de la déforestation et les processus de reconquête végétale post-défrichement. La télédétection permet de combiner l'approche quantitative et l'approche descriptive permettant de déceler et d'analyser la réalité géographique correspondant aux statistiques de la déforestation. Cette note décrit les empreintes spatiales des défrichements agricoles en forêt amazonienne à partir des compositions colorées d'images satellites couvrant au sol des dimensions variées : image Spot VEGETATION (2250 km x 2250 km), image Landsat TM (185 km x 185 km) et image Spot HRVIR (60 km x 60 km). Cette différence de surface, associée à la différence de résolution spatiale des images, autorise une analyse multi-échelle par une approche de type hiérarchique descendante qui consiste à décrire l'organisation et les configurations spatiales des défrichements en partant du niveau régional au niveau local. Ainsi, les fronts pionniers qui sont des défrichements de grande ampleur sont détectés et identifiés au niveau régional à l'aide d'images Spot VEGETATION tandis qu'au niveau local, les images Landsat et Spot permettent de mieux saisir la diversité des parcelles agricoles qui constituent ces fronts pionniers.

Mots-clés : déforestation, défrichements agricoles, télédétection, images satellites, Amazonie, Brésil.

Introduction

Avec ses quelque 5,8 millions de km², le bassin amazonien constitue le plus grand massif forestier tropical du monde. Il subit, depuis plusieurs décennies, une déforestation extensive qui résulte de multiples facteurs tant politiques que socio-économiques : demande accrue en terres agricoles pour l'élevage bovin notamment, choix politiques d'aménagement du territoire, besoins du commerce international du bois, etc. A tort ou à raison, les défrichements agricoles sont considérés comme la plus importante cause de cette déforestation, à côté de plusieurs autres facteurs comme l'orpaillage, l'exploitation forestière et l'extension des villes. D'après les calculs effectués sur les images landsat par l'institut national d'études spatiales du Brésil, les surfaces déforestées dans ce pays sont passées de 152 000 km² en 1976 à 517 000 km² en 1996, soit l'équivalent de la surface de la France métropolitaine (LENA, 1999 ; PASQUIS, 1999). Phénomène géographique complexe, la déforestation amazonienne recouvre une réalité mouvante et diversifiée et il s'avère difficile d'appréhender avec précision son ampleur réelle et son évolution dans le temps et dans l'espace. La télédétection satellitale offre la possibilité non seulement de quantifier les

surfaces défrichées, mais aussi d'approcher la réalité géographique qu'expriment les statistiques de cette déforestation. Les images satellites sont en effet une source de données et un outil d'investigations et d'analyses des empreintes spatiales que la déforestation laisse dans la forêt amazonienne du Brésil essentiellement sous forme de défrichements agricoles de dimensions variables. La caractérisation et le suivi par télédétection exigent de mettre en relation les critères spatiaux, spectraux et temporels liés à l'observation de la Terre par les satellites, avec les dimensions au sol des défrichements et les états de surface des parcelles défrichées. Après une présentation succincte des principaux types de défrichements agricoles en forêt amazonienne, nous utiliserons les images satellites pour décrire les configurations télédéctées de ces défrichements suivant une approche hiérarchique partant du niveau scalaire régional au niveau scalaire local.

Diversité des défrichements agricoles en Amazonie brésilienne

Plus connus sous l'expression fronts pionniers, les défrichements agricoles en forêt amazonienne du Brésil découlent en grande partie du mouvement de colonisation agricole qui s'inscrit dans le cadre de la politique d'appropriation de l'étendue du territoire brésilien occupée par la forêt amazonienne.

Cette politique d'appropriation et d'utilisation agricole de la forêt amazonienne du Brésil a débuté en 1953 avec la création de l'Amazonie Légale, expression désignant les États fédérés du Brésil dont le territoire est recouvert de forêt amazonienne devant faire l'objet de défrichements agricoles organisés ; il s'agit des États de l'Amazonas, du Para, de l'Acre, du Rondônia, du Roraima, de l'Amapa, d'une partie du Maranhao, du Mato Grosso et du Goias. La forêt amazonienne, considérée alors par le gouvernement fédéral comme un immense « espace vide », a fait l'objet d'une politique d'insertion dans le territoire national. Un programme d'ouverture des routes principales (les transamazoniennes) a été mis en place, suivi d'incitations à la colonisation pionnière de la forêt. Cette volonté politique s'est affirmée dès 1970 avec le programme d'intégration nationale consistant à donner des parcelles de forêt aux migrants afin qu'ils s'installent et participent à la « mise en valeur » agricole de l'Amazonie brésilienne. La gestion de cette opération publique d'aménagement planifié du territoire a été confiée à l'INCRA (Institut National de Colonisation et de Réforme Agraire).

Après la construction des axes routiers principaux, des parcelles de forêt à défricher avaient été distribuées en lots de 100 ha par famille dans un périmètre de 100 km le long des routes (FLEURY, 2000). Par la suite, les axes routiers secondaires avaient été ouverts et les défrichements ont essaimé aux alentours, en même temps que se développaient des agglomérations rurales appelées « agrovilles ». En une dizaine d'années, c'est plus d'une centaine de milliers de migrants qui ont bénéficié d'un accès à la terre, principalement pour la production vivrière (manioc, riz, petit élevage). Les images Landsat de la figure 1 illustrent les différentes étapes de mise en place de cette politique d'occupation agricole de la forêt. Elles montrent comment la colonisation agricole s'est progressivement étendue entre 1975 et 1992 dans l'État du Rondônia à l'Ouest du Brésil. L'ouverture d'une piste principale dans la forêt est suivie de la création d'une « agroville » et de la multiplication de pistes secondaires. Dès lors, les défrichements agricoles morcellent la forêt et se répandent.

Quelques années après le démarrage de ces opérations planifiées, l'accès à la grande propriété foncière s'est développé davantage grâce aux facilités bancaires et fiscales proposées par l'État brésilien. Les grands propriétaires (les *fazendeiros*) ont acquis des domaines parfois précédemment occupés de manière précaire par les petits propriétaires et les ethnies autochtones (les *posseiros*, les *caboclas*). On est ainsi passé des fronts pionniers publics (défrichements planifiés et réalisés sous la houlette des structures de l'État) aux fronts pionniers privés (défrichements réalisés par des particuliers sur de grands domaines fonciers).

Ces derniers se sont répandus surtout au Sud des États du Para, du Mato Grosso et du Rondônia, formant ainsi un « arc de la déforestation » (PASQUIS, 1999).

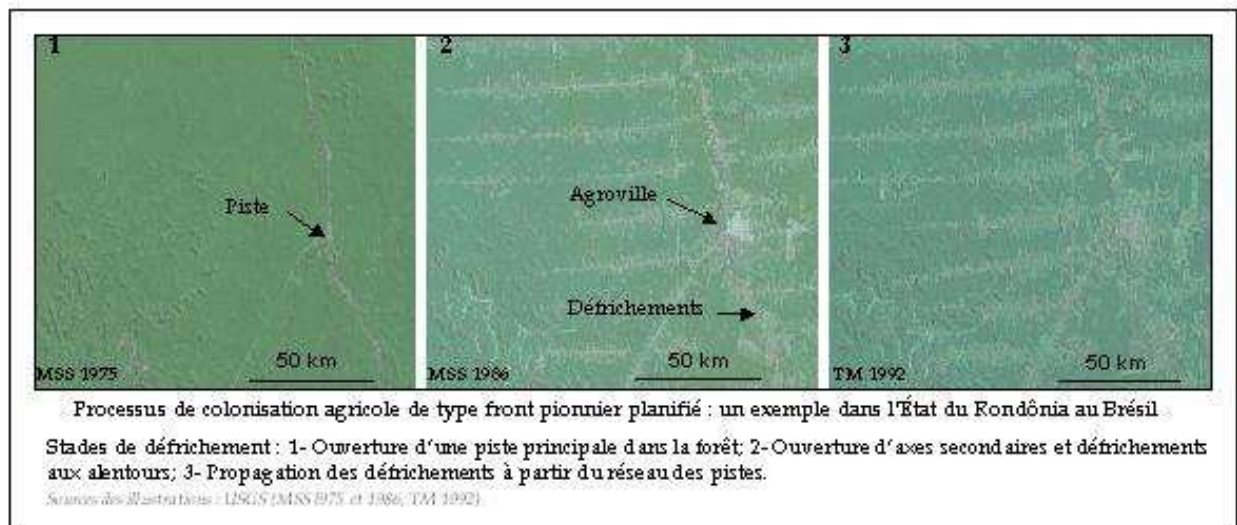


Figure 1 : Mise en place et évolution des défrichements agricoles en forêt amazonienne

L'agriculture traditionnelle itinérante sur brûlis, ainsi que la colonisation agricole par parcelles de quelques hectares distribuées aux migrants, a été progressivement submergée par les grands ranchs qui dépassent parfois 10 000 ha (LENA, 1986 ; LEVEQUE, 1986). Sur ces immenses étendues, la forêt est défrichée de manière radicale et définitive et cède la place aux pâturages permanents (photos 1 et 2). On estime que l'élevage extensif est responsable de 70 % du déboisement de la forêt amazonienne (FEARNSIDE, 1997).



Photo 1. Un pâturage d'élevage bovin consécutif au défrichement de la forêt dans l'État du Para.
cliché : M. Tsayem, novembre 2000



**Photo 2. Un front pionnier qui s'étend à perte de vue :
défrichement quasi définitif et remplacement de la forêt par les pâturages dans la région de Marabá, État du Pará.
Cliché: M. Tsayem, mars 2003**

Au total, en Amazonie brésilienne, trois principaux types de déforestation par l'agriculture sont imbriqués dans l'espace : l'agriculture itinérante traditionnelle pratiquée sur des surfaces modestes (photo 3), le défrichage quasi définitif et de grande envergure pour l'élevage bovin productiviste (fronts pionniers issus de la colonisation privée), et les défrichements opérés dans le cadre de la politique de colonisation agricole publique élaborée par l'État au profit des migrants « sans terre ». Ces défrichements laissent dans la forêt des traces détectables par les satellites d'observation de la Terre (figure 2). L'identification et la description de ces traces dépendent des caractéristiques des capteurs et des méthodes utilisées pour traiter et analyser les images satellites.



**Photo 3. Défrichement pour l'agriculture de type familial dans la région de Marabá, État du Pará.
Plantation de riz
Cliché: M. Tsayem, mars 2003**

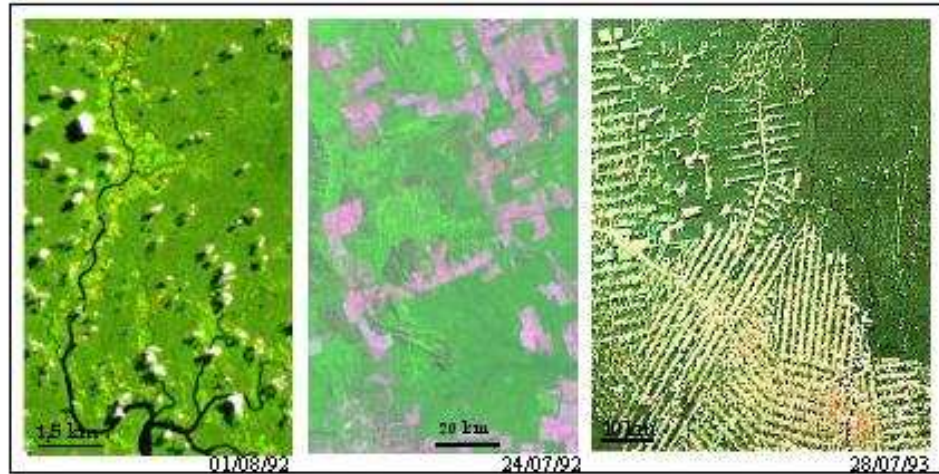


Figure 2. Formes de déforestation résultant des types de défrichements agricoles en forêt amazonienne du Brésil

A gauche : petite agriculture familiale dans l'État du Para. Au milieu : colonisation agricole en lots privés dans le Para. A droite : fronts pionniers planifiés par l'État dans le Rondônia.

Source des images (Landsat) : LRI, INPE et TRAC

Données satellites et méthodes de traitement et d'analyse

L'approche hiérarchique descendante mise en œuvre pour cette note nécessite l'utilisation d'une image à large champ pour avoir une vision d'ensemble de la zone d'intérêt. L'exemple présenté ici s'appuie sur une image composite Spot 4 VEGETATION issue de la segmentation et de la fusion de deux scènes enregistrées le 7 juin 2000 et le 03 septembre 2000. Ce traitement préalable a permis d'obtenir une image de synthèse moins nuageuse que les deux images initiales. Le capteur VEGETATION est embarqué à bord des satellites Spot 4 et Spot 5 mis sur orbite respectivement en mars 1998 et en mai 2002. Ce capteur acquiert les images de la surface de la Terre en enregistrant les réflectances dans les longueurs d'onde du bleu, du rouge, du proche et du moyen infrarouge.

Les scènes Spot VEGETATION ont un segment de 2250 km au sol, et une résolution spatiale de 1150 m au nadir. Ces caractéristiques font de l'instrument VEGETATION un capteur à faible résolution spatiale mais à large champ de couverture au sol, ce qui permet la détection et la localisation d'objets de la taille des fronts pionniers. Pour ensuite identifier et décrire les configurations spatiales des parcelles de ces fronts pionniers, il est indispensable de disposer d'images à haute résolution spatiale, typiquement Spot et Landsat. Nous avons eu recours à une image Spot 4 HRVIR enregistrée le 27 mai 2000 et à une image Landsat TM enregistrée le 6 décembre 1998. L'image Spot 4 HRVIR couvre au sol une surface de 60 km x 60 km, avec une résolution spatiale de 20 m en mode multispectral, tandis que l'image Landsat TM couvre une surface de 185 km x 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m.

Les enregistrements Spot et Landsat sont effectués dans les longueurs d'onde du visible (bleu, vert et rouge pour Landsat, vert et rouge pour Spot) et de l'infrarouge (proche, moyen et thermique pour Landsat, proche et moyen pour Spot). Les caractéristiques spatiales des images Landsat et Spot suggèrent que ces images conviennent aux observations de niveau local, car elles présentent un compromis intéressant entre résolution spatiale et champ de vue au sol. De la sorte, ces images se prêtent bien à l'identification des parcelles défrichées et à la caractérisation des fronts pionniers. Caractériser un objet géographique par télédétection suppose sa détection ou perception, son identification ou reconnaissance, et son analyse ou description. La détection dépend des caractéristiques spectrales et spatiales du capteur et de celles de l'objet d'étude. Quant à l'identification et à la description, elles nécessitent un

ensemble de traitements destinés à améliorer la lisibilité des images. Pour ce faire, nous avons utilisé essentiellement les méthodes de la photo-interprétation assistée par ordinateur, privilégiant ainsi l'analyse visuelle, car l'objectif de cette contribution est de mettre simplement en évidence les signatures spatiales de la déforestation telle qu'elle est détectée par les satellites. Ainsi, l'image devient un document de visualisation et de localisation, une pièce à conviction pour orienter les investigations sur le plan de la recherche scientifique ou de la gestion et de la surveillance de l'occupation du sol.

La mise en évidence et l'identification des défrichements agricoles ont été effectués sur les compositions colorées après l'amélioration du contraste des images. Ces compositions colorées sont obtenues par combinaison de trois canaux affichés dans l'ordre colorimétrique rouge, vert et bleu. De la sorte, on obtient une image synthétique enrichie de l'apport spécifique de chacun des trois canaux. La composition colorée de l'image Landsat TM associe le canal 5 (enregistrement dans le moyen infrarouge) affiché en rouge, le canal 4 (enregistrement dans le proche infrarouge) affiché en vert et le canal 3 (enregistrement dans le rouge) affiché en bleu. Quant aux compositions colorées Spot 4 VEGETATION et Spot HRVIR, elles associent le canal 4 (moyen infrarouge) affiché en rouge, le canal 3 (proche infrarouge) affiché en vert et le canal 2 (rouge) affiché en bleu. Le choix des canaux et des couleurs d'affichage est fait en fonction des propriétés spectrales des types d'occupation du sol. Les enregistrements du proche infrarouge (canal 3 de Spot et canal 4 de Landsat) contribuent de manière significative à la discrimination des couverts végétaux alors que les enregistrements du moyen infrarouge (canal 4 de Spot et canal 5 de Landsat) complètent ceux du canal 3 et confortent l'interprétation visuelle.

Configurations des fronts pionniers sur l'image Spot 4 VEGETATION

La composition colorée de l'image Spot VEGETATION montre la structuration d'ensemble de la zone couverte : Surinam, Guyane française et États du Para et d'Amapa au Nord du Brésil (figure 3). Elle permet d'appréhender de manière globale la forêt amazonienne et les grands défrichements en son sein. Les couleurs qui caractérisent les types de couverts résultent des propriétés spectrales de ces couverts et du choix des couleurs d'affichage des canaux dans l'ordre rouge, vert et bleu. Ainsi par exemple, la forêt dense apparaît en vert du fait que le canal du proche infrarouge, le plus sensible à la végétation (qui réfléchit au maximum dans le proche infrarouge) est affiché en vert. Les autres couverts sont en magenta (mélange du rouge et du bleu) et correspondent à une occupation du sol plus ou moins dépourvue de végétation dense : savanes (*cerrados*, *campos*), mangroves, marais et autres traces d'occupation anthropique du sol. Malgré la couverture nuageuse qui masque certains secteurs, cette image permet d'effectuer une première distinction entre la forêt (globalement en vert) et les couverts non forestiers (en magenta). Les éléments linéaires structurants sont bien mis en évidence : grands fleuves (l'Amazone et ses affluents au Sud de la Guyane) et les barrages (Brokopondo au Surinam et Petit Saut en Guyane française). On observe au Sud de l'Amazone, dans le Nord du Para, une structure linéaire sous forme de squelette (encadré sur la figure) : c'est une section de front pionnier centrée sur la localité de Ruropolis dans l'État du Para. La régularité des traces indique qu'il résulte du modèle de colonisation agricole planifiée mis en place par l'État brésilien dans les années 1970 dans le cadre de la politique d'intégration nationale.

La configuration télédétectée de cette colonisation agricole est une structure en peigne ou en râteau. Elle est faite de rentrants et de saillants qui alternent tous les 5 km environ, le long de la section de la route transamazonienne reliant Itaituba à Marabá via Altamira. L'agrandissement de l'extrait de la composition colorée de l'image Spot 4 VEGETATION

offre une vision générale de la structure spatiale de ce front pionnier (figure 4). Cette structure spatiale est constituée d'un axe routier principal et d'un réseau de pistes perpendiculaires à l'axe principal. Les saillants, qui sont des axes perpendiculaires, pénètrent en forêt sur une distance moyenne de 20 à 30 km et constituent des axes de défrichements agricoles. Les rentrants correspondent aux lambeaux de forêt intercalés entre les parcelles défrichées. D'après DROULERS (1995), la distribution des parcelles avait été faite par lots de 10 ha à partir de la base des saillants, et jusqu'à 500 ha au sommet.

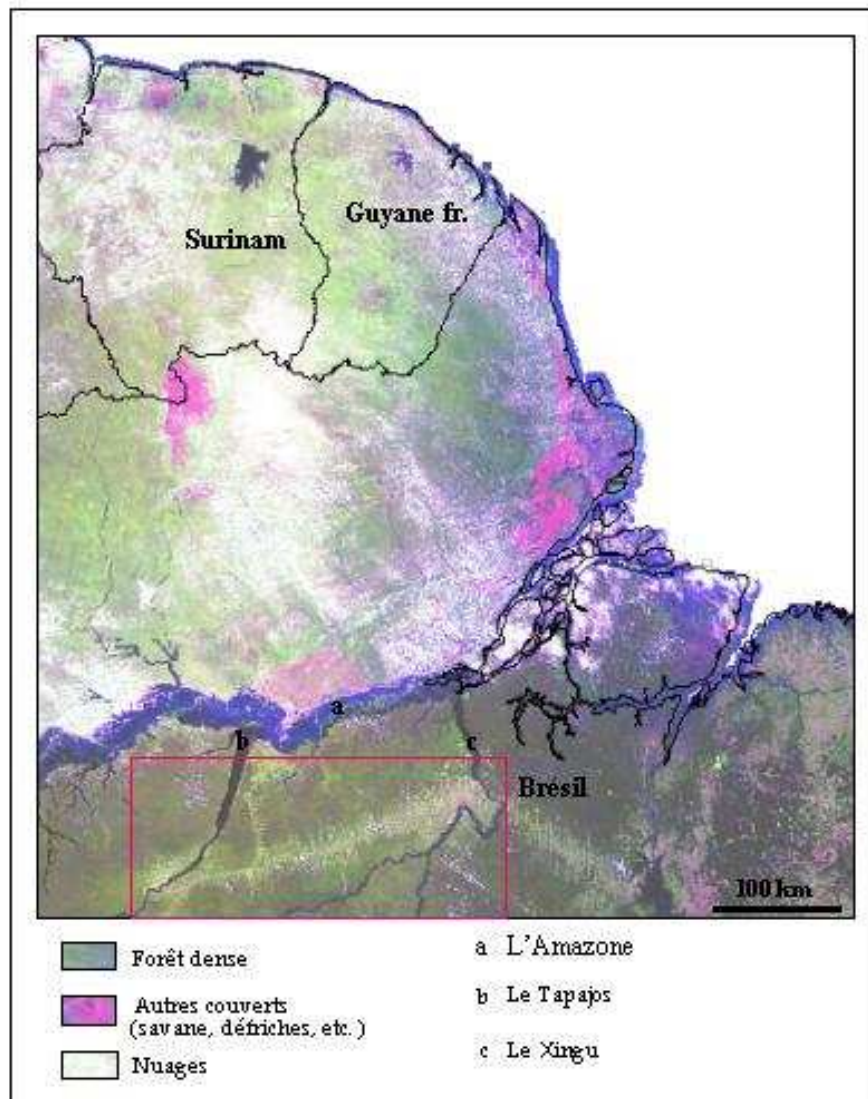


Figure 3. Détection et identification des fronts pionniers sur une image Spot 4 VEGETATION (images du 07/06/00 et du 03/09/00, composition colorée R4, V3, B2).
© CNES

Cet exemple montre que les images de faible résolution spatiale (Spot VEGETATION mais aussi NOAA AVHRR) offrent une vision d'ensemble des massifs forestiers et de la structure géométrique des grands défrichements de type fronts pionniers. La largeur au sol de ces images (environ 2250 km) autorise le repérage et la cartographie de la déforestation de grande ampleur (« deforestation hot spot », « active deforestation area ») au niveau régional ou continental (ACHARD et al., 1998 ; TREES, 1998). Cependant, la faible résolution spatiale de ce type d'images (la taille du pixel est d'environ 1 km) ne permet pas de préciser

avec certitude si les espaces déforestés correspondent aux cultures, aux pâturages, aux jachères, aux forêts secondaires ou aux villes par exemples. A ce niveau d'observation, on se limite à la détection et à la reconnaissance générale des grandes structures spatiales. Il est ensuite indispensable de faire appel aux images de haute résolution spatiale (Landsat et Spot HRVIR par exemples) pour affiner la description géographique en termes de contenu thématique de l'occupation du sol à l'échelle locale.

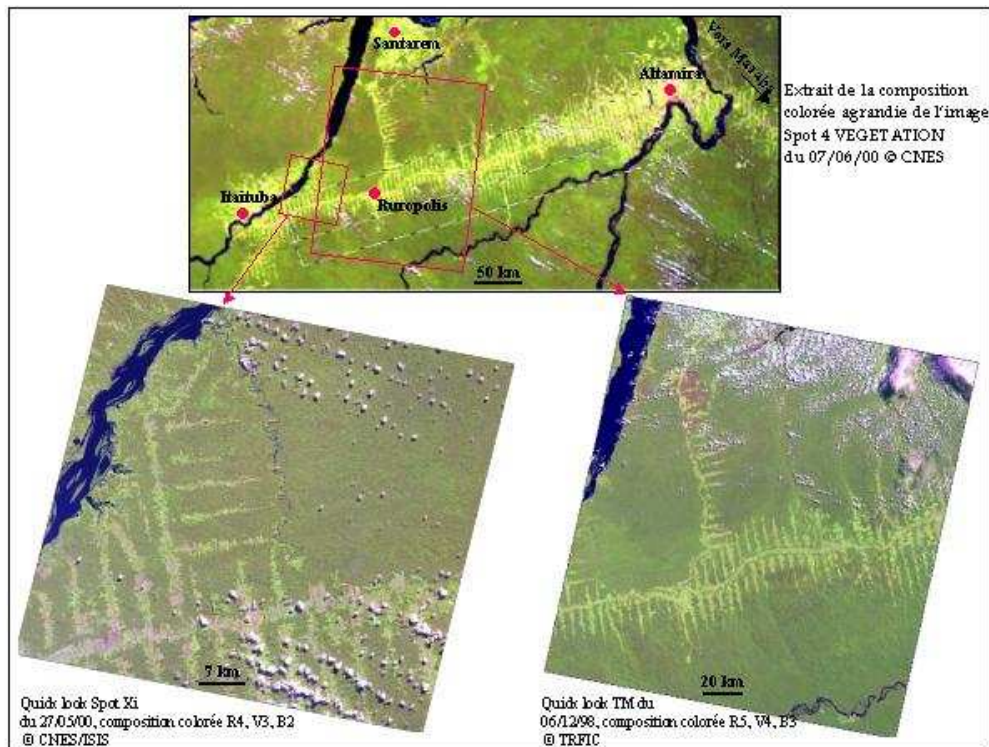


Figure 4. Structure en peigne de la section du front pionnier entre Itaituba et Altamira dans l'État du Para

Le parcellaire des fronts pionniers mis en évidence sur les images Spot HRVIR et Landsat TM

L'interprétation visuelle des compositions colorées des images Spot HRVIR et Landsat TM permet de décrire l'arrangement du parcellaire du front pionnier. Du fait de la bonne résolution spatiale des images et de l'échelle d'affichage propice à l'analyse analogique, les composantes et les contours sont bien soulignés et la structuration spatiale du front pionnier apparaît dans toute sa diversité (figure 5). Un ensemble de parcelles rectangulaires se greffent les unes aux autres comme les carreaux d'un damier. Les parcelles aux contours bien définis s'individualisent surtout si elles présentent un fort contraste avec les parcelles adjacentes. Les deux grands types d'états de surface qui correspondent à la déforestation alternent dans l'agencement interne du front pionnier. Le premier type, en rouge-rose-magenta et en position centrale le long de l'axe principal et des axes secondaires, correspond aux surfaces plus ou moins dépourvues de végétation (bâti, routes, brûlis et défrichements récents, cultures en début de cycle cultural). Le second, en vert-jaune, est situé à la périphérie des axes et correspond aux parcelles partiellement ou faiblement recouvertes de végétation (pâturages, friches et végétations secondaires clairsemées des premiers stades de recrus ligneux). La variation de couleur du vert au rouge en passant par le jaune traduit le passage de la forêt dense aux sols nus. Cette interprétation thématique est confirmée par l'analyse des valeurs radiométriques des pixels dans les différents canaux (valeurs de réflectance dans les différentes longueurs d'onde). L'échelle des compositions colorées donne une indication de

la surface unitaire des parcelles défrichées : environ 30 ha d'après les mesures effectuées sur les parcelles de l'axe central.



Figure 5. Le parcellaire des fronts pionniers mis en évidence sur les images Landsat TM et Spot HR VIR

La description des fronts pionniers à partir d'images Landsat TM et Spot XS montre l'hétérogénéité des parcelles défrichées qui composent la structure d'ensemble perçue de manière homogène sur l'image Spot 4 VEGETATION. Ainsi que le montrent les compositions colorées, le passage d'un niveau d'observation large mais avec une image à faible résolution spatiale (Spot 4 VEGETATION) à un niveau restreint et avec une image à

haute résolution spatiale (Spot HRVIR et Landsat TM) s'accompagne de précisions sur la perception et la description du contenu sémantique des images et de l'organisation de l'espace. Les images Landsat TM et Spot XS sont donc suffisantes pour détecter, identifier et décrire les parcelles de fronts pionniers.

Conclusion

Cette contribution montre qu'à la variabilité des dimensions spatiales des défrichements agricoles amazoniens correspond une diversité de capteurs qui permettent de détecter et de décrire ces défrichements à différents niveaux scalaires. Une bonne connaissance des échelles spatiales des défrichements, ainsi que des pratiques agricoles mises en œuvre, oriente judicieusement le choix des capteurs. De la sorte, le suivi des défrichements peut être envisagé avec les outils et les méthodes de télédétection. Cette note est issue d'une recherche plus globale portant sur la caractérisation et le suivi des défrichements agricoles amazoniens par télédétection et SIG (TSAYEM, 2002). Nous avons privilégié ici l'analyse visuelle des images satellites traitées très simplement pour mettre en évidence les configurations télédétektées de la déforestation. Il s'agit d'une première étape dans une démarche géographique d'analyse spatiale. La description est donc qualitative et quelque peu figée car elle ne prend pas en compte l'évolution spatio-temporelle de la déforestation. Pour mettre en évidence les changements d'occupation du sol et les dynamiques des défrichements agricoles, il est indispensable d'utiliser les images multidates qui offrent la possibilité de suivre les modifications qui surviennent dans la configuration spatiale des paysages (TSAYEM et FOTSING, 2003). L'obtention des statistiques caractérisant l'emprise de la déforestation et son évolution nécessite une approche quantitative au travers des classifications d'images par exemple (TSAYEM et FOTSING, 2005 ; TSAYEM et al., 2001 et 2002 ; IMBERNON et BRANTHOMME, 2001).

Références bibliographiques

- ACHARD F., EVA H., GLINNI A., MAYAUX P., RICHARDS T., STIBIG H.J., 1998. Identification of deforestation hot spot areas in the humid tropics. Luxembourg, European Commission, TREES Publications, Series B, n° 4.
- ACHARD F., EVA H., MAYAUX P., 2001. Tropical forest mapping from coarse spatial resolution satellite data : production and accuracy assessment issues. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, n° 14, 2741-2762.
- DROULERS M., 1995. L'Amazonie. Paris, France, Nathan Université, 188 p.
- FEARNSIDE P.M., 1997. Amazonie : la déforestation repart de plus belle. *La Recherche*, n° 294, 44-46.
- FEARNSIDE P.M., 1991. Développement agricole et déforestation en Amazonie brésilienne. *Cahiers des Sciences Humaines*, 27 (1-2), 235-253.
- FLEURY M.-F., 2000. L'exploitation du bois et la déforestation : exemple du Brésil. *L'information Géographique*, n° 1, 58-70.
- FOTSING J.M., TSAYEM DEMAZE M., 2003. Caractérisation et suivi multi-échelles des défrichements agricoles en forêt amazonienne par télédétection satellitale. *Cahiers Géomatiques d'Orléans*, n° 2, 2-11.
- IMBERNON J., BRANTHOMME A., 2001. Characterization of landscape patterns of deforestation in tropical rain forests. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, vol. 22, n° 9, 1753-1765.
- LENA P., 1999. La forêt amazonienne : un enjeu politique et social contemporain. *Autrepart*, n° 9, 97-120.

- LEVEQUE F., 1986. Les processus de formation et les dynamiques des régions pionnières. Le cas de la côte atlantique nicaraguayenne et de l'Amazonie brésilienne. Cahiers des Sciences Humaines, vol. 22, n° 3-4, 345-354.
- LEVEQUE F., 1986. Les processus de formation et les dynamiques des régions pionnières. Le cas de la côte atlantique nicaraguayenne et de l'Amazonie brésilienne. Cahiers des Sciences Humaines, vol. 22, n° 3-4, p.p. 345-354.
- PASQUIS R., 1999. La déforestation en Amazonie brésilienne et son impact sur l'environnement. Bois et Forêts des Tropiques, n° 260 (2), 53-64.
- TREES, 1998. *Vegetation map of South America at 1 : 5 000 000*. Luxembourg, European Commission, TREES publications, Series D2.
- TSAYEM DEMAZE M., FOTSING J.M., 2005. Évaluation quantitative des défrichements agricoles en forêt amazonienne de Guyane française et du Brésil. In Actes du colloque « FORETS » organisée par le laboratoire ICOTEM de l'Université de Poitiers.
- TSAYEM DEMAZE M., FOTSING J.M., HUYNH F., 2002. La déforestation dans la région de Saint-Georges de l'Oyapock (Guyane française). Les Cahiers d'Outre Mer, n° 218, 197-222.
- TSAYEM DEMAZE M., POLIDORI L., FOTSING J.M., 2001. Caractérisation multi-échelle et multi-capteur de la déforestation tropicale amazonienne. Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n° 161, 74-84.
- TSAYEM DEMAZE, M. 2002. Caractérisation et suivi de la déforestation en milieu tropical par télédétection : application aux défrichements agricoles en Guyane française et au Brésil. Thèse, Université d'Orléans, France, 242 p.